

JP61216383

Title:
DISTRIBUTED FEEDBACK SEMICONDUCTOR LASER

Abstract:

PURPOSE:To suppress an oscillation threshold current and facilitate a stable single wavelength oscillation by a method wherein a periodical uneven structure is divided into two in the part closer to the end surface which has a higher reflection index than the central part along the direction of a stripe and a phase shifting zone is provided in the part which divides the structure. **CONSTITUTION:**A periodical uneven structure 2 is divided into two along the direction of a stripe in the part closer to the end surface which has a higher reflection index than the central part of the periodical uneven structure 2 and a phase shifting zone 3, which creates an optical phase shifting between the two divided periodical uneven structures, is provided in the part which divides the structure into two. The length of the phase shifting zone 3 is $(1+2n)/4$ [wherein (n) is 0 or positive integer] times of the wavelength of a light propagating through the phase shifting zone 3 in order to set the magnitude of the optical phase shifting in the phase shifting zone at $\pi/2$. Or the length of the phase shifting zone 3 is so determined as to be $\pi/2$ times of the reciprocal of the difference between the propagation constant of the light propagating through the phase shifting zone 3 and the propagation constant of the light propagating along the periodical uneven structure 2.

⑩ 日本国特許庁(JP)

⑪ 特許出願公開

⑫ 公開特許公報(A)

昭61-216383

⑬ Int.Cl.⁴

識別記号

庁内整理番号

⑭ 公開 昭和61年(1986)9月26日

H 01 S 3/18

7377-5F

審査請求 有 発明の数 1 (全7頁)

⑮ 発明の名称 分布帰還型半導体レーザ

⑯ 特 願 昭60-57334

⑰ 出 願 昭60(1985)3月20日

⑱ 発 明 者 山 口 昌 幸 東京都港区芝5丁目33番1号 日本電気株式会社内
⑲ 出 願 人 日本電気株式会社 東京都港区芝5丁目33番1号
⑳ 代 理 人 弁理士 内 原 晋

明 細 書

1 発 明 の 名 称 分布帰還型半導体レーザ

2 特 許 請 求 範 囲

1) ストライプ状発光領域と、このストライプ状発光領域に近接して光の進行方向に沿う周期状の凹凸構造を有する分布帰還型半導体レーザにおいて、前記ストライプ状発光領域の両端に反射率の異なる2つの端面を備え、前記周期状凹凸構造の中央部より前記反射率の高い方の端面に近い側で前記周期状凹凸構造を前記ストライプ方向に2分し、この2分する部分に、2分された周期状凹凸構造の間で光学的な位相ズレを生じさせる位相シフト領域を備えたことを特徴とする分布帰還型半導体レーザ。

2) 前記位相シフト領域での光学的位相ズレ量が $\pi/2$ となるように、前記位相シフト領域の長さを前記位相シフト領域を伝搬する光の波長の $(1+2n)/4$ 倍(但し n は0以上の整数)としたことを特

徴とする特許請求範囲第1項記載の分布帰還型半導体レーザ。

3) 前記位相シフト領域での光学的位相ズレ量が等価的に $\pi/2$ となるように、前記位相シフト領域の長さを前記位相シフト領域を伝搬する光と前記周期状凹凸構造に沿って伝搬する光の伝搬定数の差の逆数の $\pi/2$ 倍としたことを特徴とする特許請求範囲第1項記載の分布帰還型半導体レーザ。

3 発 明 の 詳 細 な 説 明

(発明の技術分野)

本発明は安定な単一波長で発振する分布帰還型半導体レーザ(以下DFBレーザと称する)に関するものである。

(従来技術とその問題点)

DFBレーザは素子内部に形成した回折格子による分布帰還とその波長選択性を利用して単一波長で発振する半導体レーザである。このような単一波長半導体レーザを光源に用いた光ファイバ通信システムにおいては、その伝送媒体として波長

分散（波長の違いによって伝送速度が異なる性質）のある光ファイバを用いても、長距離伝送後の信号波形が乱れないという利点があるため、DFBレーザは長距離光ファイバ通信光源として有望視されている。

ところで、従来のDFBレーザは回折格子の周期によって決まるブラッグ波長近傍に、ストップバンドと呼ばれる発振モードの存在しない波長帯を持ち、このストップバンドの両側に2本の発振可能モードを有しているため、全ての素子が単一波長で発振するのではなく、中には2本の軸モードで発振するものもあった。この問題を解決するために、例えば1984年4月12日発行のエレクトロニクスレーザ誌、第20巻、第8号、ページ326～327では、DFBレーザの中央部分で、回折格子の周期を伝搬波長(λ)の $1/4$ だけずらした構造（以下 $1/4$ シフト構造と称する）を提案している。この $1/4$ シフト構造DFBレーザではブラッグ波長に一致して発振可能モードが存在し、且つこのモードの発振閾値利得が他のモードに比べ著

しく低くなるため、ブラッグ波長での安定な単一波長発振が得られる。前記論文では $1/4$ シフト構造DFBレーザについて、両端面の反射が無い場合、及び一方の端面の反射が無く、他方の端面が反射率約30%の劈開面である場合の理論的な検討を行っており、前記 $1/4$ シフトの領域はどちらの場合も素子中央部分にあるのが理想的であると述べている。

しかし、本願の発明者の理論的検討によれば、前記論文で示した $1/4$ シフト領域の最適位置には若干の誤りがあることが判明した。すなわち、両端面が無反射、あるいは両端面の反射率が等しい場合には、 $1/4$ シフト領域の最適位置は素子中央でよいのであるが、両端面の反射率が非対称な場合には、その最適位置が素子中央部分からずれることが本発明者によって見い出された。一般にDFBレーザにおいては、不要モードであるファブリペロ・モードを抑制し且つ前端面からの光取り出し効率を高くすることを目的として、例えば1984年3月15日発行のエレクトロニクスレー

ザ誌、第20巻、第6号ページ233～235で示されているように、素子前端面に無反射コーティング（以下ARコーティングと称する）を施すことが多い。このような場合においては、 $1/4$ シフト領域をどこに設けたら良いかについての検討はなされていなかった。

（発明の目的）

本発明は、特に非対称な端面反射率を有するDFBレーザにおいて、安定な単一波長で発振するDFBレーザを提供することにある。

（発明の構成）

本発明による半導体レーザの構成は、ストライプ状発振領域と、このストライプ状発振領域に近接した光の進行方向に沿う周期状凹凸構造を有する分布帰還型半導体レーザにおいて、前記ストライプ状発振領域の両端に反射率の異なる2つの端面を備え、前記周期状凹凸構造の中央部より前記反射率の高い方の端面に近い側で、前記周期状凹凸構造を前記ストライプ方向に2分し、この2分する部分に2分された周期状凹凸構造の間で光学的

な位相ズレを生じさせる位相シフト領域を備えたことを特徴としている。このような構造でも特に、前記位相シフト領域での光学的位相ズレ量が $\pi/2$ となるように、前記位相シフト領域の長さを前記位相シフト領域を伝搬する光の波長の $(1+2n)/4$ 倍（但し、 n は0以上の整数）とした構造、あるいは、前記位相シフト領域を伝搬する光と前記周期状凹凸構造に沿って伝搬する光の伝搬定数の差の逆数の $\pi/2$ 倍となるように位相シフト領域の長さを定めた構造では効果が著しく大きくなる。

（発明の作用・原理）

まず、 $1/4$ シフト構造DFBレーザの原理について述べる。第4図(a)は $1/4$ シフト構造DFBレーザの回折格子の形状である。回折格子の周期 Λ は一般に $\Lambda = m\lambda_g/2$ （ λ_g は半導体中での光の伝搬波長、 m は1以上の整数）となるように設定するが、ここでは話を簡単にするため $m=1$ の1次の回折格子とするが一般性は失なわれない。両端には反射率 R_1, R_2 の2つの端面があり、回折格子の一部に長さ ΔL の平坦な位相シフト領域がある

構造を考える。このような回折格子を持つDFBレーザでは、図中A点から左側を見た反射光と、B点から右側を見た反射光のブラッグ波長での位相はそれぞれ $\pi/2$ である。従って、位相シフト領域がない($\Delta L=0$)一般のDFBレーザでは、ブラッグ波長で共振器内を一周する光に π の位相ズレが生じてしまい、ブラッグ波長では発振モードは存在しない。これに対し、 $\lambda/4$ シフト構造DFBレーザでは、素子中央部($L_1=0.5L$)に設けた位相シフト領域(ここで言う位相シフト領域とは、便宜上平坦部両側の回折格子の凸部から凸部とする。)の長さを $\Delta L=\lambda g/4$ とすることにより、光がこの位相シフト領域を通過する際、片道で $\pi/2$ 、往復で π だけ位相がシフトされ、左右の回折格子による位相ズレを打ち消すため、ブラッグ波長での安定な単一波長発振が得られる。

以上説明したように、従来の $\lambda/4$ シフト構造DFBレーザにおける位相シフト領域は、ブラッグ波長での位相整合をとることによって、ブラッグ波長に一致した安定な単一波長発振を得ること

を目的としていた。また、その最適位置は素子中央部($L_1=0.5L$)であるとされていた。しかし、ブラッグ波長でのより安定な単一波長発振を得るためには、位相シフト領域において、位相整合のみならず、左右の反射光の強度的な整合もとることが望ましい。これを実現するためには左右の反射光の強度が等しくなる位置に位相シフト領域を設ければよい訳である。一般に両端の反射率が異なる($R_1 \neq R_2$)場合には、左右を見た反射光の強度が等しくなる位置は素子中央部よりも高反射端面側にずれる。従って、位相シフト領域の最適位置も素子中央部より高反射端面側にずれる。これを実証するために次の様な計算による検討を試みた。第4図(b)は、左右の端面の反射率がそれぞれ $R_1=30\%$ 、 $R_2=0$ の場合について、位相シフト領域の位置(L_1/L)を変えた時の、ブラッグ波長に一致するメインモードとその両側のサブモードの発振閾値利得の変化の様子を示したものである。 $L_1/L=0.3 \sim 0.4$ の時、メインモードの発振閾値利得が最小となり、サブモードについては最

大となる。つまり、位相シフト領域の位置を、3:7~4:6の割合で高反射端面側に近づけることによって、DFBレーザの発振閾値が最小となり、且つサブモードが抑制された安定な単一波長発振が得られることを示している。尚、両端面の反射率が等しい($R_1=R_2$)場合には、位相シフト領域の最適位置は従来通り素子中央部分でよいため、本願は非対称な端面反射率を有する $\lambda/4$ シフト構造DFBレーザについて有効である。

(実施例1)

以下本発明の実施例を図面を用いて詳細に説明する。

第1図は本発明の第1の実施例であるDFBレーザの縦断面図である。 n -I \cdot P基板1の上に周期 2000\AA の回折格子2と長さ $\lambda g/4$ (約 1000\AA)の平坦な位相シフト領域3を例えば電子ビーム露光法及び化学エッチング法を用いて形成する。位相シフト領域3の位置は端面から0.35:0.65の位置とする。その後波長組成 $1.1\mu\text{m}$ の n -I \cdot G \cdot A \cdot P光ガイド層4、波長組成 $1.3\mu\text{m}$ のノンドープ

I \cdot G \cdot A \cdot P活性層5、P-I \cdot Pクラッド層6、 P^+ -I \cdot G \cdot A \cdot Pキャップ層7をそれぞれ順に $0.1\mu\text{m}$ 、 $0.1\mu\text{m}$ 、 $3\mu\text{m}$ 、 $0.5\mu\text{m}$ の厚さにエビタキシャル成長する。このようにして得られた多層半導体ウェハの上下に電極8、9を形成し、また、位相シフト領域3から遠い側の端面にSiN等によるARコーティング膜10を形成して所望の構造が得られる。こうして得られたDFBレーザは、最も理想的な $\lambda/4$ シフト構造となっており、そのほとんどの素子でブラッグ波長での安定な単一波長発振を得ることができた。

尚、ここで示した回折格子2のように、位相シフト領域3によって一部繰り返し周期をずらした回折格子2は一般に製作困難とされているが、発明者らは前述した電子ビーム露光法によってそれを実現した。また昭和59年度電子通信学会光・電波部門全国大会講演論文集、分冊2、第265番で示されているような、ボジョおよびネグレシストの同時干渉露光法等によってもこのような回折格子2を製作することができた。本実施例では位相

シフト領域3の長さ ΔL を $\lambda g/4$ としたが、 $\Delta L = \lambda g(1+2n)/4$ (但し n は0以上の整数)であれば位相シフト領域3を通過する光の位相は片道で $\pi/2$ ずれるため、 n は必ずしも0である必要はない。

(実施例2)

実施例1では位相シフト領域3によって、一部周期をずらした回折格子2を用いた例を示したが、このような回折格子2は製作が難しいため、本実施例では製作容易な位相シフト構造DFBレーザについて述べる。

第2図は本発明の第2の実施例であるDFBレーザの縦断面図である。 n -I \cdot G \cdot A \cdot P基板1の上に周期2000Åの均一な回折格子2を従来の干渉露光法と化学エッチング法を用いて形成した後、端面から0.35:0.65の位置に前記回折格子2の一部を深さ1 μ m、長さ約20 μ mにエッチング除去した位相シフト領域3を形成する。その後更に波長組成1.1 μ mの n -I \cdot G \cdot A \cdot P光ガイド層4、波長組成1.3 μ mのノンドープI \cdot G \cdot A \cdot P活性層5、P-I \cdot P

いことになる。

本実施例で示したDFBレーザは、等価的に $\lambda/4$ シフト構造と同じであり、実施例1で示した $\lambda/4$ シフト構造DFBレーザと同様にブラッグ波長での安定な単一波長発振を得ることができた。更に本実施例で示したDFBレーザは、実施例1で示したものと異なり、回折格子2をI \cdot P基板1の表面全体に均一に形成した後、位相シフト領域3を後付けで形成すればよいから、回折格子2の製作が容易である利点を有している。

尚、本実施例では、光ガイド層4が位相シフト領域3において厚くなっている例を示したが、光ガイド層4は位相シフト領域3において逆に薄くなっている例もよい。

(実施例3)

第3図(a)、(b)は本発明の第3の実施例であるDFBレーザの縦断面図及び水平断面図である。本実施例も実施例2と同じく等価的な位相シフト領域3を有する製作容易なDFBレーザである。 n -I \cdot P基板1の上に周期2000Åの均一な回折

クラッド層⁶、P⁺-I \cdot G \cdot A \cdot Pキャップ層7を順にエピタキシャル成長する。光ガイド層4の厚さは回折格子2の上部で約1 μ m、位相シフト領域3において約2 μ mであり、他の層厚は実施例1と同じである。こうして得られた多層半導体ウェハの上下に電極8、9を形成し、また、位相シフト領域3から遠い端面側にARコーティング膜10を形成し、所望の構造が得られる。この構造の素子では、回折格子2が形成された領域と、位相シフト領域3とでは光ガイド層4の厚さが異なるためそれぞれの領域の等価屈折率が異なり、そのため、両領域での光の伝搬定数に差が生じる。この伝搬定数の差が $\Delta\beta$ の時、位相シフト領域3の長さ ΔL を $\Delta L = \pi/2\Delta\beta$ と設定することにより、位相シフト領域3を光が通過する時の位相シフト量は片道で等価的に $\pi/2$ となる。本実施例のように、光ガイド層4の厚さが位相シフト領域3において回折格子2の上部よりも約1 μ m程度厚くなっている場合には、前記伝搬定数の差は約0.08(rad/ μ m)となり、位相シフト領域3の長さは約20 μ mでよ

格子2を形成した後、波長組成1.1 μ mの n -I \cdot G \cdot A \cdot P光ガイド層4及び波長組成1.3 μ mのノンドープI \cdot G \cdot A \cdot P活性層5を端面から0.35:0.65の位置で一部幅を狭くしたストライプ状に形成した後、全面にP-I \cdot Pクラッド層6、P-I \cdot G \cdot A \cdot Pキャップ層7を順にエピタキシャル成長する。ストライプ状に形成した光ガイド層4と活性層5の幅は狭い部分で2 μ m、広い部分で3 μ mとし、位相シフト領域3にあたるストライプ幅の広い部分の長さは約40 μ mである。各層の厚さは実施例1と同じである。こうして得られた多層半導体ウェハの上下に電極8、9を形成し、また前記位相シフト領域3から遠い端面側にARコーティング膜10を形成し、所望の構造が得られる。この構造においても、ストライプ幅の狭い領域と位相シフト領域3との間で約0.04(rad/ μ m)の伝搬定数の差が生じるため、位相シフト領域3の長さを約40 μ mとすることにより実施例2と同様に等価的な $\lambda/4$ シフト構造となっている。このDFBレーザにおいても、ブラッグ波長での安定な単一波長発振が得ら

れる。

尚、本実施例では、位相シフト領域3の長さが全体の共振器長(約300 μ m)に比べ短いことから、位相シフト領域3に残された回折格子2の影響が小さいので、位相シフト領域3に回折格子2を残したままの構造としたが、位相シフト領域3には回折格子2がない方がより理想的である。また、本実施例では位相シフト領域3の幅をその両側より広くしたが、その逆に狭くしてもよい。

以上述べてきた本発明の実施例においては、片端面にARコーティング膜10を形成した構造を示したが、本発明は両端面の反射率が非対称であれば有効であり、端面構造はこれに限定されない。また本発明の実施例では発振波長1.3 μ mのDFBレーザの例を示したが、本発明は他の波長帯のDFBレーザにおいても有効である。更に、本発明の実施例では、回折格子2を活性層5よりも下に設けた構造を示したが、活性層5の上に光ガイド層4を形成し、この光ガイド層4の表面に回折格子2を形成してもよい。

レーザの歩留りが向上し、更に、高速変調時や長期使用中にも発振モードが変化するような問題はなくなる。

4.図面の簡単な説明

第1図、第2図、第3図は本発明による第1、第2、第3の実施例であるDFBレーザの断面図であり、1はn-I \cdot P基板、2は回折格子、3は位相シフト領域、4はn-I \cdot G \cdot A \cdot P光ガイド層、5はノンドープI \cdot G \cdot A \cdot P活性層、6はP-I \cdot Pクラッド層、7はP $^+$ -I \cdot G \cdot A \cdot Pキャップ層、8、9は電極、10はARコーティング膜である。また、第4図の(a)図は位相シフト構造DFBレーザの回折格子の形状を、(b)図は位相シフト領域の位置とメインモード及びサブモードの発振閾値利得の関係を示す図である。

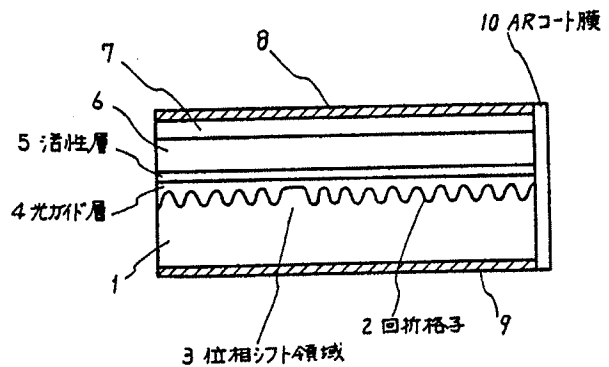
代理人 弁理士 内原 晋

本発明の実施例では、位相シフト領域3における位相シフト量を $\pi/2$ となるようにその長さを設定したが、位相シフト量が $\pi/4 \sim 7\pi/4$ の範囲であれば位相シフトによる効果があるため、位相シフト量は必ずしも $\pi/2$ である必要はない。また、本発明の実施例では、位相シフト領域3の位置を0.35 : 0.65の割合で高反射端面側に近づけた構成としたが、位相シフト領域3が素子中央部より少しでも高反射端面側に近ければ、素子中央に位相シフト領域3を設けたDFBレーザよりもメインモードとサブモードの発振閾値利得差を大きくとることができるため、位相シフト領域3の位置は素子中央より高反射端面寄りであれば特に限定されない。

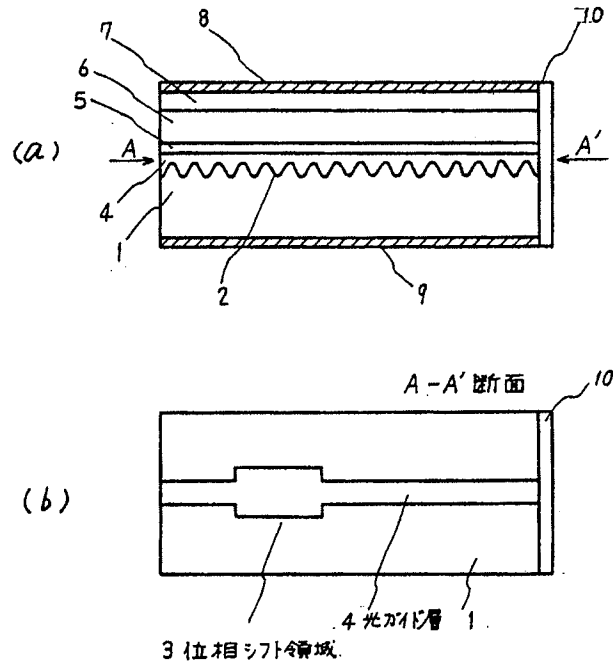
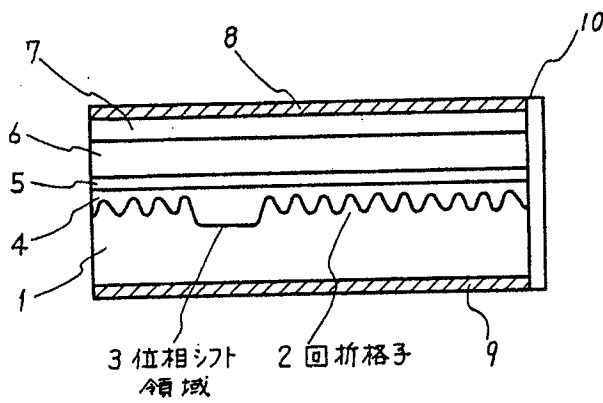
(発明の効果)

本発明によるDFBレーザでは、位相シフト領域3を持たない従来のDFBレーザや素子中央に位相シフト領域3を持つDFBレーザに比べ、発振閾値電流が低くなり、且つ、より安定な単一波長発振が得られるため、単一波長で発振するDFB

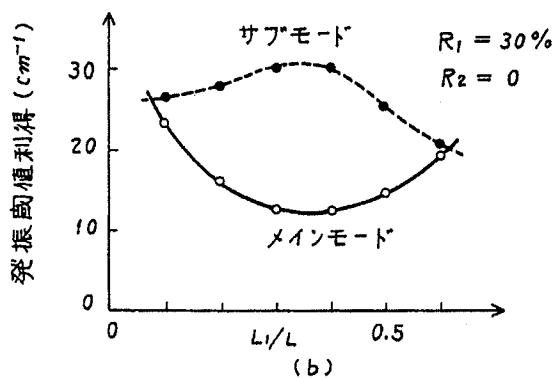
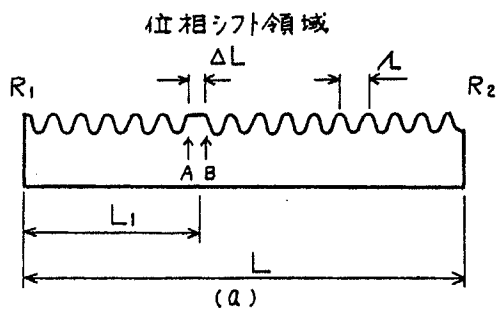
第 1 図



第 3 図



第 4 図



手続補正書 (自発)

昭和 61. 6. -2 年 月 日

特許庁長官 殿

1. 事件の表示 昭和 60 年 特 許 願 第 057334 号
2. 発明の名称 分布撹選型半導体レーザ
3. 補正をする者

事件との関係

出 願 人

東京都港区芝五丁目33番1号
(423) 日本電気株式会社
代表者 関本 忠 弘

4. 代 理 人

〒108 東京都港区芝五丁目37番8号 住友三田ビル
日本電気株式会社内
(6591) 弁理士 内 原 晋
電話 東京 (03) 456-3111 (大代表)
(連絡先 日本電気株式会社 特許部)

5. 補正の対称

明細書の発明の詳細な説明の欄

6. 補正の内容

- 1) 明細書第12頁第3行目に「約 $1\mu\text{m}$ 」とあるのを「約 $0.1\mu\text{m}$ 」と補正する。
- 2) 明細書第12頁第4行目に「約 $2\mu\text{m}$ 」とあるのを「約 $0.2\mu\text{m}$ 」と補正する。
- 3) 明細書第12頁第18行目に「約 $1\mu\text{m}$ 」とあるのを「約 $0.1\mu\text{m}$ 」と補正する。
- 4) 明細書第15頁第13行目の後に次の文を挿入する。

「例えば前端面を無反射とし後端面を反射率80%程度の高反射としたDFBレーザにおいても本発明は有効であり、その場合位相シフト領域3を高反射端面側に2:8の割合で近づけて設けることによりメインモードとサブモードとの発振閾値利得差は著しく大きくなる。」

代理人 弁理士 内原 晋